

B-55 低環境負荷型都市内交通手段に関する研究

(3) 都市内交通の環境負荷の事前評価に関する研究

研究代表者 工業技術院機械技術研究所

エネルギー部エネルギー利用技術研究室 清水健一

工業技術院機械技術研究所

エネルギー部 エネルギー利用技術研究室 清水健一
エネルギー利用技術研究室 岩月 徹

平成 9～11 年度合計予算額 9, 471 千円

(平成 11 年度予算額 2, 950 千円)

[要旨]

都市内交通によって消費されるエネルギー量の推定は、一般にシミュレーションによって行われるが、その際の基準になるデータとしては 10・15 モード燃費試験に代表される標準的な燃費試験法によるデータが用いられている。しかし、現状の試験法が排ガス試験法の修正版であることもあって、実走行状態を代表する結果が得られないことは周知のとおりである。一方、省エネルギーを目的とした EV や HEV は駆動系の性格等が従来の車両と大幅に異なるため、試験結果と実用燃費の乖離はさらに大きなものとなる可能性が高い。ここでは、基準となるデータを求めるこれら既存の試験方法の問題点を明らかにし、より実用燃費に近い結果を得るための試験基準を求める。また、実用燃費に影響を与える種々の要素と、その寄与度についても検討し、実際の総合的なエネルギー消費量を推測するために実施する交通流を加味したシミュレーション作業の精度向上に資する。

とくに現状のモード燃費試験方法等で規定されていない坂路勾配の影響や空調機の使用時の影響など、実使用時のエネルギー効率に影響を与える種々の要素を考慮した、いわゆるオフモード燃費は、実際の使用状況でのエネルギー効率を評価する尺度として重要であるので、その寄与度についても検討した。

評価試験法に関しては、シャーシダイナモメータ上で行う評価試験時に大きな誤差が生じる要素について、従来の定性的な検討をふまえて定量的な検討を行った。その結果、ランク別けされたフライホイールによってある範囲の車両質量に対して一つの代表慣性質量値で対応する現状の試験法は、一般の車両より走行抵抗が低く車両重量が 1.5 倍近い EV では大きな問題となることが判明した。また、市販 HEV の回生制動効果の正確な評価には、新たなシャーシダイナモメータのあらたな制御アルゴリズムの開発が必要であることが明らかとなった。

実用燃費に影響を与える要素とその寄与度に関しては、道路勾配の寄与度についての詳細なシミュレーションを行った。また、専用のモータで冷房用コンプレッサーを駆動する EV 専用エアコン付の車両を用いて、エアコンの燃費への寄与度を調査し、省エネルギー設計のこれらのエアコンには、新たな試験基準の確立が不可欠であることが、明らかになった。

さらに回生制動時のエネルギー効率の評価試験を行う際に必要な要件を明らかにした。

[キーワード] 電気自動車、エネルギー効率、ハイブリッド電気自動車

1. 序

交通分野で消費されるエネルギー量の大きさは先進諸国で共通の問題になっている。特に、交通分野で消費されるエネルギーのうち、自動車によって消費されるエネルギー量は、その絶対量の大きさと同時に、毎年が増加率が高いことが問題になっている。二酸化炭素排出量の削減には、この自動車によるエネルギー消費量をいかに削減するかが大きな課題となっている。

自動車によるエネルギー消費量を低減する方法として、一般には高効率の車両を開発するのが先進国の共通な動きになっている。しかし、車両の総数の増加や、車両の走行距離の総量の増加等、消費エネルギーの総量を増加させる要素が多いため、車両の開発だけでは目的の達成が困難であるのは自明である。

そのため、たとえば、鉄道と自動車の役割分担や、その役割に特化した理想的な新たな車両の技術開発など、交通体系の見直しや社会システムの見直し等も重要な検討課題となる。本研究では、土木研究所の研究と合わせて、これらの種々の対策による効果を事前に精度良く予測する手法を開発することを目的としており、当所の分担は、実用状態での車両のエネルギー消費効率を精度良く推測するための試験基準と推測手法を確立する事である。

まず、一般の内燃機関自動車と性格を異にする EV や HEV のエネルギー効率評価試験で、エラーを生じ易い要素について検討し、エアコンと、道路勾配が各々 EV 等の効率に与える影響についても調査した。

次に、EV や HEV の特徴の一つで、車両全体の高効率化のために近年高効率化の流れが顕著な回生制動について、その効率を評価する上で問題になる点について検討した。

2. 既存燃費試験の誤差要因

従来の内燃機関自動車の構成要素やその運用方法が長い年月をかけて最適なある一つの形態に到達したのに対し、EV や HEV は開発途上にあるため、内燃機関自動車と性格を大きく異にするだけでなく、その性格付けも車両によってまちまちであると考えられる。したがって、従来、既存評価試験法による結果が、実際の走行状態の結果とは一定の乖離があったとしても、車両間の乖離度の差が問題になることが少なかったのに対し、EV や HEV では乖離度がまちまちとなるため、より忠実に評価できる評価試験法が必要となる。

2. 1. 慣性模擬エラー

モード走行時の燃費等、エネルギー効率の評価試験は、シャシーダイナモメータ上で都市内走行を模擬して実施される。この模擬は、走行抵抗の模擬と車両質量、すなわち慣性の模擬に2分される。国内の10・15モードを例にとると、一般的な1800CCの乗用車の消費エネルギーのうち加減速で消費されるエネルギー(慣性分)と走行抵抗で消費されるエネルギー(抵抗分)の比はおおむね55:45である。走行抵抗が速続的に制御可能であるのに対し、従来、慣性値をフライホイールの組合せで実現していた経緯から、模擬された慣性値は離散値をとり、その結果、車両の質量によってはこの離散化で大きな誤差が生じる。

運輸省の新型車両の審査基準 (TRIAS) 及び工業標準 (JIS) では、ある範囲の車両質量を定

められた一つの慣性質量で模擬するよう、車両質量によるランク分けとそれに対応する代表慣性質量値が定められている。そのため、実際の質量と等価慣性質量の代表値との間には図1に示すような最大12%の模擬エラーが生じる。この模擬エラーは、モード走行時の加減速分の損失を55%とすると、走行抵抗も含んだ総合的な抵抗に対するエラーに換算すると最大でも6.6%に低減することになる。しかしEVやHEVは高効率化のために走行抵抗を低減する努力をしている反面、同等の内燃機関自動車に比べてその質量が約1.5倍に近いため、前述の慣性と走行抵抗の比率は66:33にも及ぶものがあり、この場合、先の最大エラーは7.9%と大きくなる。従ってこの離散化誤差を低減する必要が生じる。供試車両の質量より小さい慣性質量値での試験は、現実より良好な結果が得られるが、現実には車両の公称質量をクラス分け範囲の上限寄りに設定した車両が少なくない。これは、試験法の弱点について現実より良好な試験結果を得ようとするものであるから、実際の使用状況に近い結果を期待するのであればクラス分けの範囲を狭める必要がある、少なくとも、「供試車両質量 > 代表慣性質量」の条件は認めるべきではない。

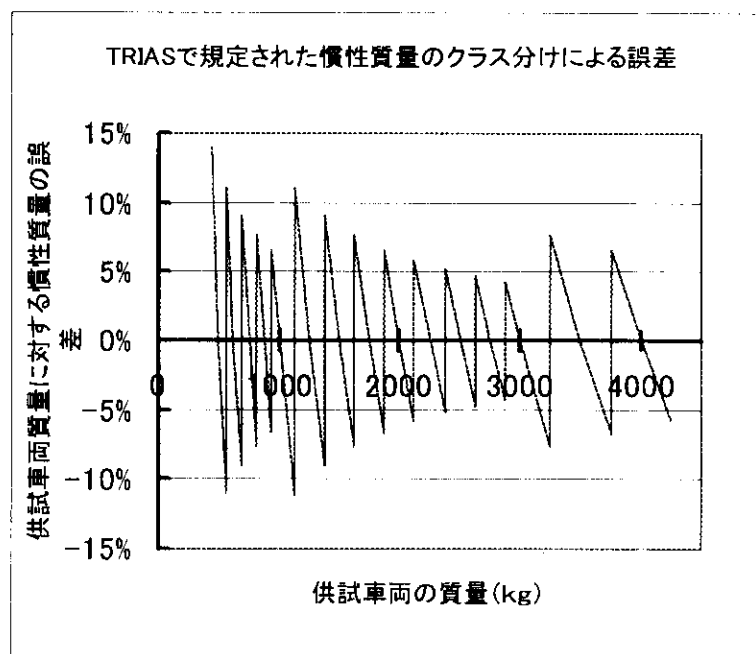


図1 慣性質量のクラス分けによる誤差の大きさ

2.2. 回生制動の模擬精度

EVやHEVの大きな特徴の一つとして、回生制動があげられる。これは減速時にモータを発電機として用いることによって、運動エネルギーを電気エネルギーに変換して電池等に回収するものである。

従来は、機械ブレーキと、電気ブレーキの比が固定であったため、試験時には機械ブレーキで消費されるであろうエネルギーをダイナモメータの吸収に上乘せする方法がとられてきた。しかし、回生電力量をより効果的に回収しようとする試みから、最新のEV、HEVでは、回生比率が動的に変動するものが多くなってきた。すなわち、車両の運動性能に影響を与えない低減速度の制動時には、非駆動輪の機械ブレーキを使用せずに、すべての運動エネルギーをモーターによる

回生制動で電池に回収する方法を採っている。逆に、電池が満充電状態に近い場合は電池を保護するために回生制動をせずに機械制動のみを使用するので、機械制動と回生制動の比率は制動時の条件によってダイナミックに変化する。

これらに対応する目的で、当所では4輪駆動車用のシャシーダイナモメータを改造して、減速時にはブレーキの動作を忠実に模擬できるブレーキダイナモメータとして動作する装置を開発し、これによる試験を実施してきた。しかし、前述したように、低減速度範囲では駆動輪の回生制動のみで制動する車両に対しては、制動力が加えられていないローラーの速度を制御するためのローラー間を還流する動力の大きさが通常より大きいため、通常の制御則では安定した動作が得られないことが判明した。このためこれに対応した改修を行った。

しかし、一般的には2WD車用のシングルローラー式のシャシーダイナモメーターが広く使用されており、この種のシャシーダイナモメーターで評価試験を行った場合の誤差の評価手法や、その結果から正規の結果を導くための試験結果の補正方法等の開発が重要である。本研究ではそれらについて検討するまでに至らなかったが、EV、はHEV車の本格的な普及の前にこれらの検討を早急に行う必要がある。

3. オフ・モード条件による影響

エネルギー効率の評価で問題となるもう一つの問題は、評価試験の条件が実際の走行状態と一致しているのか否かという点である。試験時の標準的な条件と実際の走行時の条件が大幅に異なる代表例として、エアコンの動作の影響と道路の勾配の影響について検討した。

3.1. エアコンの影響

内燃機関自動車の場合、エアコン用のコンプレッサーは、熱負荷の大きさに無関係に一定の圧力範囲に維持するように動作する。そのため、エアコンを動作させたことによるエネルギー効率の低下幅は10～15%の、車両固有の値となっている。そのため、米国の試験法のなかにはエアコン使用時の燃費低下を実際の試験で求めない場合は、一律15%低下したとみなすものもある。これに対し、EV専用エアコンは省動力の努力が成されているので、車両による差が大きいと考えられる。そこで、EVでエアコン動作時の電力消費率への影響を調査した。エアコン使用時の10・15モードでの電力消費率試験を、試験時の車両冷却風の温度を変えて実施した。その結果、実施した試験の範囲では規則性や有意差が認められるほどの安定したデータが得られなかった。その原因は、試験に使用した車両冷却装置が車両下部に配置されたEVの主要コンポーネントの冷却環境を模擬するにとどまり、キャビン等の環境温度を一定にできるものではないため、結果として熱負荷を一定の状態に維持できなかつたためと考えられる。

逆に、これらの熱負荷の大きさによって電力消費率が大きく影響を受けることが確認でき、エアコンの寄与度の評価に課題があることが確認できた。

3.2. 道路勾配の影響

一定勾配を連続して走行した際のシミュレーションを一步進めて、種々の勾配の道路が混在した道路を、EVとシリーズ型HEV、パラレル型HEVの3種が10・15モードで走行した場合のエネルギー効率についてシミュレーションを行った。一例として、勾配の分布が図2に示すように平坦路のみの場合、2%程度の坂路までを含む場合、更に4、6、10%程度の勾配の大きい坂路までを含む場合についてのシミュレーション結果を図3に示す。

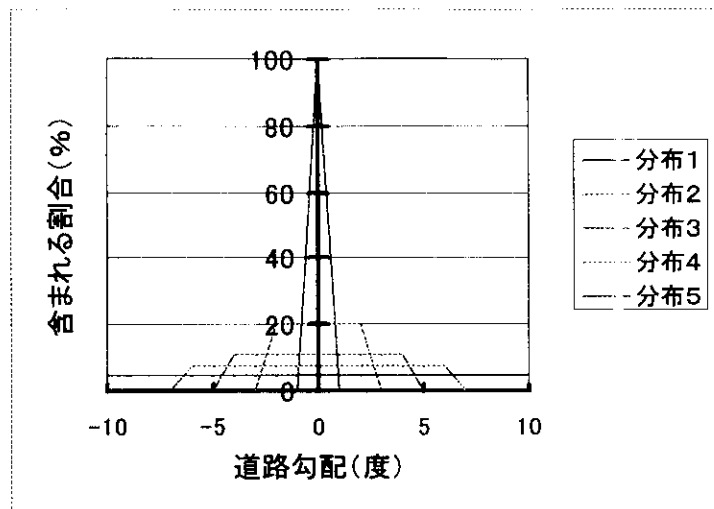


図2 道路勾配の分布パターン

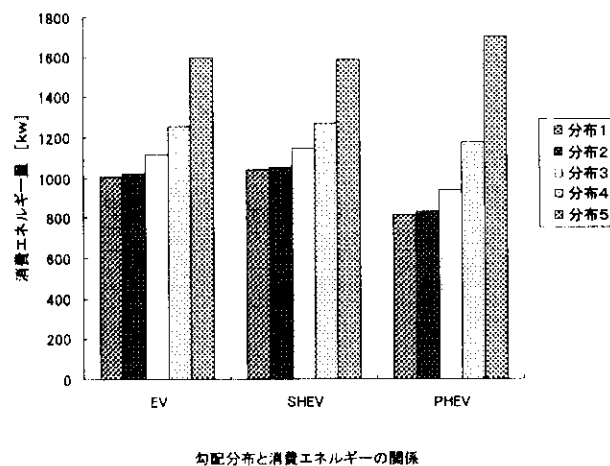


図3 勾配分布と消費エネルギーの関係

シミュレーションのベースになった EV、S-HEV、P-HEV は最新のコンポーネントの特性データを基に、各システムは一定の制御アルゴリズムで走行するものとしてエネルギー効率を試算したものである。図から分かるように、勾配によってエネルギー効率は大きく低下する傾向があるが、その傾向はシステムによって大きな差があり得ることが分かる。この試算は、電池やモーターの容量等を妥当と思える値に設定して実施したもので、この値を修正すれば結果は当然異なるが、坂路の勾配に大きく影響を受けることと、システムによってその度合いや傾向が異なる点は普遍であると考えられる。

4. 実走行時の回生制動の挙動について

回生制動時の各ブレーキで吸収される動力の比率を正しく再現するために、4輪のブレーキダイナモメータとして動作する試験機が必要なことを先に述べた。しかし、試験機上でのモード走行試験の結果と実際の路上を走行した際の回生電力の波形には大きな差がある場合が多い。これは走行時の速度パターンそのものに差があることが考えられる。

図5は、同一の車両で、同一の場所を二人のドライバーが走行した際の減速時の減速度-回生電力のリサージュ波形である。車両は市販のハイブリッド電気自動車で、コースはつくば市の中心部の幹線道路と裏道を含むルートである。この試験は、インテリジェントブレーキシステムの走行方法依存性をチェックするために行ったものである。10・15モード試験の減速度は0.08G以下であり、この車両はその範囲ではすべて回生制動だけで停止する様にセットされた、回生効率を高める設計になっている。これを見ると実走行時には減速度が0.08Gを超えることが非常に多い。また、回生電流は50Aに達するまでは減速度に比例しているが、回生電流そのものは50Aで制限されている。

A, B二人のドライバーの運転結果は明らかに異なっており、ドライバーBの方が50Aの回生電流が持続している時間が長いことから、両者の回生電力量に差があることが想像できる。

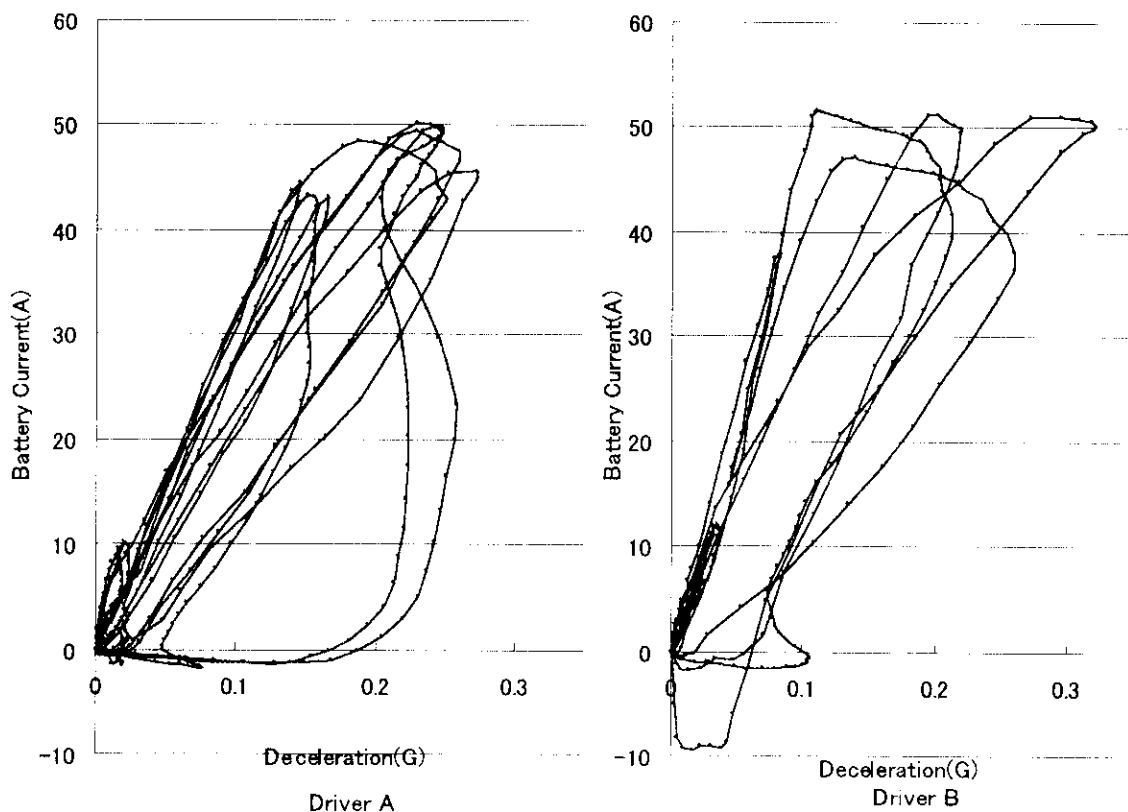


図5 実走行時の回生制動の挙動の差

表 1 減速度の頻度分布

減速度 (G)	頻度 (回)
0.05	1230
0.1	190
0.15	224
0.2	180
0.25	109
0.3	55
0.35	12
合計	2000

また、実市街地走行全体での減速度の度数分布は表 1 に示すとおりで、0.08G をオーバーする減速が 30% 以上もあることが判る。このことは燃費試験での減速度がいかにか実走行状態を踏まえていないかを表わしており、試験用モードの減速部について検討が必要であることが判る。

(b) 実走行での回生制動

図 6 は減速方法の差による回生電流の差である。同程度の速度から同程度の時間をかけて停車しているにもかかわらず回生量に 1.7 倍ほどの開きがある。Driver A は定減速度の制動（試験用モードに同じ）で、Driver B は最初に緩やかに減速した後、中間速度域で減速度が高くなり、停止直前での減速度が再び低くなる、一般的な制動方法で停車している。このことから、Driver A に近い試験モードの制動では、Driver B の様な一般的な制動に比べて回生エネルギーが 4 割ほど低下することがわかる。

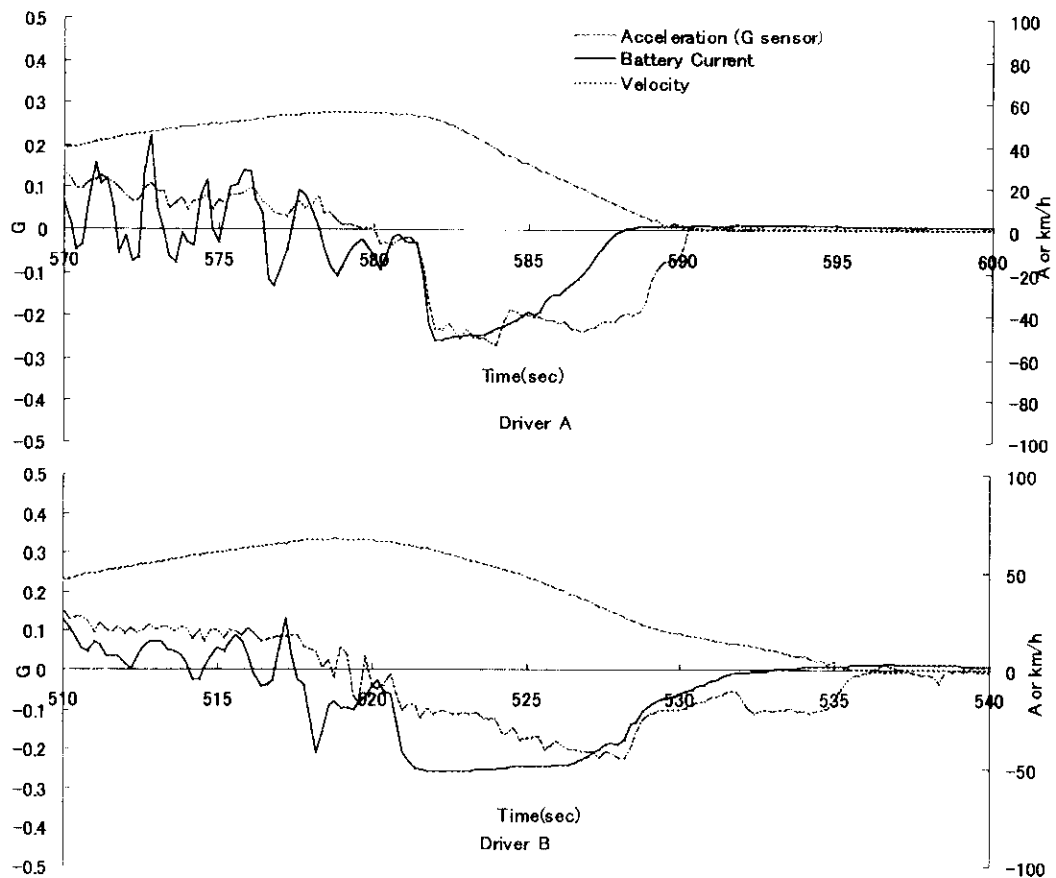


図6 運転者による回生制動の差

4. まとめ

都市内交通によって消費されるエネルギー量の推定を行う際に問題となる、試験精度に影響を与える要素と、試験条件そのものの妥当性について、影響が大きいと思われる要素について検討した。

試験精度に関しては、1)車重が大きく走行抵抗が小さいEVでは、シャシーダイナモメータでの試験時のフライホイールのクラス分けが大きな誤差を生じること、2)低減速度の範囲では回生制動のみで制動するようなシステムでは回生制動の効果を正しく評価することが難しいことが判明した。

試験条件の妥当性に関しては、1)エアコンの影響が大きいものの、EV用エアコンに関する限りその度合いの評価が難しいこと、2)坂路勾配の影響は大きく、その度合いがEV,HEV等のシステムによって異なるため、実走行での効率評価には坂路の寄与度の評価法の検討が必要であることを明らかにした。

成果発表、特許等の状況

(1) 口頭発表

- ①電気自動車／ハイブリッド電気自動車の技術動向（省エネルギーの達成手法とその評価手法を中心に）、清水健一、機械技術協会総会、1998年3月4日
- ②電気自動車／ハイブリッド電気自動車の技術動向、清水健一、鉄道車両工業会講演会、1998.9.
- ③電気自動車普及のバリアとその解決策、清水健一、機械技術協会講演会「次代を担うクリーンエネルギー自動車」、1998.12.
- ④人間・動力系の研究（第2報）－最適な運動姿勢と筋出力方向を見出すための筋力測定実験－、岩月徹、畑辺徹、所内研究発表会、1998.7.
- ⑤EV／HEVのエネルギー効率評価法に関する一考察、清水健一、岩月徹、機械技術研究所研究発表会、1999.2.
- ⑥EV/HEVの技術動向、清水健一、機械技術協会総会、1998.4.
 - 1) ハイブリッドEVの台上試験に関する一考察－回生／機械複合制動システムの評価について－、小池栄治、清水健一、白井信正、岩月徹、清宮茂、長谷川義昭、機械技術研究所研究発表会、1999.7.

(2) 論文発表

- ① A Few Remarks on a Bench Test for Regenerative Energy Evaluation, 清水健一、岩月徹、白井信正, Proc.of the 16th International Electric Vehicle Symposium (on CD-ROM), 1999.10.

(3) 特許

第2818855,H10.10.30,電気自動車用シャシーダイナモメータ, 清水健一, 白井信正, 二瓶光弥